

Inhaltszusammenfassung:

Bewegungen stellen die Schnittstelle des Menschen zu seiner sozialen und physikalischen Umgebung dar. Während einer alltäglichen Bewegung wie zB dem Griff zum Türknopf laufen im menschlichen Gehirn zahlreiche komplexe Prozesse ab. Der Knopf muß visuell erkannt und lokalisiert und in räumliche Relation zur Hand gebracht werden. Dann muß die Bewegung des Armes und der Hand mit sämtlichen zu aktivierenden Muskeln geplant werden. Während der Bewegung werden diese Parameter überwacht und bei Änderung der Umgebung, wenn zB die Tür geöffnet wird, wird die Bewegung ad hoc angepaßt. Die Prozesse zur Integration der sensorischen Informationen während einer bereits initiierten Bewegung laufen innerhalb von 60-160ms ab und liegen damit weit unter der Dauer, die für die bewußte Wahrnehmung visueller Informationen nötig ist. Welche Mechanismen der senso-motorischen Integration zugrunde liegen und wo diese Prozesse im menschlichen Gehirn ablaufen ist Thema dieser Dissertation. Zur Untersuchung von Bewegungsanpassungen werden Störungsparadigmen verwendet: Testpersonen werden instruiert, zielgerichtete Armbewegungen von einem Startpunkt zu einem Zielpunkt zu machen. Nach Initiierung der Bewegung wird von außen eine Störung eingebracht, zB wird das Ziel verschoben. Dies zwingt die Testperson dazu, ihre Bewegung ad hoc zu korrigieren und das Gehirn muß die neue sensorische Information in die gerade ablaufende Bewegung integrieren. Das erste Projekt untersuchte die Chronometrie der Prozesse, die während der Integration visueller und propriozeptiver Informationen ablaufen. Mittels Elektromyographie (EMG) konnte ich die Erstaktivierung der Muskeln erfassen, welche für die Korrekturbewegung zuständig sind und somit sehr genau die neuronale Laufzeit von der Störung bis zur Reaktion messen. Diese Methode lieferte die Verarbeitungszeit, welche für die Integration und Transformation von sensorischen zu motorischen Signalen benötigt wird. Weiterhin konnte ich diese Prozesse so weit herunterbrechen, daß ich die Zeit für Koordinatentransformationen von augen- zu körperzentrierter Darstellung ermitteln konnte. Das zweite Projekt untersuchte die kortikale Lokalisierung der Prozesse zur Integration verschiedener visueller Informationen während einer Bewegung. Von Interesse waren hier die Informationen über das Ziel der Bewegung sowie über die Repräsentation des bewegungsausführenden Arms. Für eine ungefähre Lokalisierung der dabei im Parietalkortex ablaufenden Prozesse habe ich funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) verwendet. Aufgrund dieser Ergebnisse habe ich weitere Unterregionen mittels Transkranieller Magnetstimulation (TMS) auf Notwendigkeit während verschiedener involvierter Prozesse getestet. Aufgrund der hohen Variabilität in den Hirnaktivierungen habe ich als Grundlage für die TMS Spulenpositionen sowohl individuelle als auch Gruppenergebnisse verwendet. Dies führte zu Positionen mit einem Abstand von 1-2cm. Die distinkten Verhaltenseffekte von TMS an benachbarten Spulenpositionen demonstrieren in dieser Studie eindrücklich, daß TMS eine bessere funktionelle Auflösung besitzt als gemeinhin angenommen. Weiterhin konnte ich zeigen, daß die Vorgehensweise der Planung von TMS Spulenpositionen mittels individueller fMRT Ergebnisse erfolgsversprechender ist als bisher übliche Methoden. Außerdem habe ich gezeigt, daß sich das paritale Netzwerk für Bewegungssteuerung wesentlich inferiorer ausdehnt als bisher angenommen. Schlußendlich habe ich demonstriert, daß der anteriore Intraparietale Sulcus (aIPS), welcher bisher vorrangig mit Greifbewegungen assoziiert wurde, auch bei der visuellen Steuerung von Armbewegungen essentiell ist, unabhängig von der Natur der visuellen Störung. Das letzte Projekt untersucht die kortikale Lokalisierung der Prozesse zur Integration propriozeptiver Informationen mittels Einbringung eines Kraft-Impulses als Störung während einer Bewegung. In dieser Studie habe ich den gesamten anterioren Parietalbereich mit TMS Spulenpositionen abgedeckt. Abhängig davon, ob die Testpersonen ihre Hand sahen oder nicht, das heißt die Kraft-Störung sowohl visuell und propriozeptiv oder nur propriozeptiv wahrnehmen konnten, habe ich Verhaltenseffekte durch TMS in verschiedene Unterregionen erhalten. Konnte auf die Störung auch visuell reagiert werden, so fand ich wieder den selben Bereich wie bei der vorherigen Studie (aIPS). Konnte die Störung nur aufgrund von propriozeptiven Informationen ausgeglichen werden, so führte die Stimulation einer weiter posterior und medial gelegenen Position zu Verhaltenseffekten. Visuelle und propriozeptive Informationen zur Bewegungssteuerung werden also in räumlich voneinander getrennten Untergebieten des Parietalkortex verarbeitet. Diese drei Studien haben die Prozesse zur Integration visueller und propriozeptiver Informationen während der Bewegungsausführung sowohl zeitlich näher charakterisiert als auch neuronale Korrelate im Parietalkortex lokalisiert.